

**BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND****PRIORITY  
DOCUMENT**SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

REC'D 12 AUG 2004

WIPO

PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung****Aktenzeichen:**

103 32 571.9

**Anmeldetag:**

13. Juli 2003

**Anmelder/Inhaber:**Stiftung Alfred-Wegener-Institut für Polar- und  
Meeresforschung, 27568 Bremerhaven/DE**Bezeichnung:**Verfahren zum thermischen Bohren von Löchern in  
Eis und Vorrichtung zur Durchführung des Verfah-  
rens**IPC:**

E 21 B 7/15

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-  
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**München, den 22. Juli 2004  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**  
Im Auftrag

Letang

## **Verfahren zum thermischen Bohren von Löchern in Eis und Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens**

### **5 Beschreibung**

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum thermischen Bohren von Löchern in Eis sowie auf eine Vorrichtung zur Anwendung des Verfahrens mit einem mittels Heißwasser erwärmbaren Bohrkopf sowie einer  
10 Versorgungs- und einer auf- und niederholenden Kraneinrichtung.

Eisbohrungen werden zu unterschiedlichen Zwecken benötigt. Ein Hauptanwendungsfeld ist die Polarforschung, bei der die Entnahme von Eisproben in Form von Bohrkernen aus den verschiedenen Eisregionen der  
15 Polarkappen, die in-situ-Erstellung senkrechter Eisprofile bezüglich verschiedener Parameter oder die Durchbohrung schwimmenden Eises bzw. Schelfeises der Polarregionen zur Durchführung von Messungen und Probennahmen unterhalb des Eises von großer Bedeutung sind. Das polare Eis konserviert Informationen zu Klimaereignissen vergangener Zeiten und  
20 kann als Klimaarchiv bis zu mehrere hunderttausend Jahre zurückreichen. Mit zunehmender Tiefe werden die Schichten immer älter und auf Grund des steigenden Drucks immer dünner. Es sind daher schonende Bohrtechniken erforderlich, die die Eisproben selbst möglichst wenig beeinträchtigen oder eine schonende Behandlung der Messgeräte im Bohrloch gewährleisten. Die  
25 Erbohrung von Eiskernen aus allen Tiefen zu Zwecken der Klimaforschung geschieht regelmäßig mit mechanischen Hohlbohrern. Ein an seinem unteren Ende mit Sägezähnen versehenes Rohr wird unter Druck ins Eis gedreht, wobei die Bohrspäne im äußeren Ringspalt abgeführt werden und im Inneren des Rohrs ein ausgesägtes zylinderförmiges Eisstück als Bohrkern  
30 zurückbleibt. Bei diesen mechanischen Techniken wird der Bohrkern weitgehend unbeeinflusst und frei von Bohrzusatzstoffen gehalten, so dass die gewünschten Informationen relativ ungestört erhalten bleiben. Zur Erstellung

von Eisprofilen bezüglich physikalischer und chemischer Parameter der Eisschichten wie Dichte, Gehalt an verschiedenen Spurenstoffen, Porengröße im Eis und Besiedlung mit kälteresistenten Mikroorganismen während des Bohrvorgangs werden hauptsächlich thermische Bohrtechniken eingesetzt.

5 Eine elektrisch beheizte Schmelzsonde schmilzt sich durch das Eis und nimmt dabei gleichzeitig die gewünschten Messungen an den Bohrlochwänden bzw. in der an der Sondenspitze vorhandenen dünnen Schmelzwasserschicht vor. Das die Sonde tragende Seil ist entweder für tiefere Bohrungen in der Sonde oder für Bohrungen geringer Tiefe mit entsprechend einfacherer Sonde an der Eisoberfläche bevorratet. Das Bohrloch wird nicht abgesaugt und friert  
10 oberhalb der Sonde wieder zu. Die Sonde liefert ihre Messwerte über einen Signaldraht nach oben und ist nach Abschluss der Messungen verloren.

Durchbohrungen von schwimmendem Eis dienen dagegen hauptsächlich dem  
15 Zweck, die Eisunterseite, das darunterliegende Wasser und den Meeresboden zu untersuchen. Dazu werden Bohrung und Messung voneinander getrennt durchgeführt. Das Bohrloch wird während der Messzeit offengehalten, sodass das Messinstrument nach Abschluss der Messungen geborgen werden kann. Es können zum Bohren alle bekannten Techniken eingesetzt werden. Das  
20 mechanische Bohren bei hoher Leistung geht schnell, das thermische Bohren verlangt geringere Leistungen, ist mit weniger apparativem Aufwand verbunden, benötigt dafür umso mehr Zeit. Für den Einsatz größerer Messinstrumente, Probennehmer oder Experimente muss das Bohrloch einen deutlich größeren Durchmesser als bei den Messbohrungen mit Schmelzsonde  
25 haben. Insbesondere zum Aussetzen und Bergen von Instrumenten muss das Bohrloch glatte Wände aufweisen, damit es beim Aufholen nicht zum Verkanten oder Verklemmen und damit möglicherweise zum Verlust von Instrument und Messdaten kommt. Zum thermischen Bohren können elektrisch beheizte und/oder mit heißem Wasser arbeitende Bohrköpfe verwendet  
30 werden. Dabei werden Schmelzbohrköpfe, bei denen das Heißwasser zum Erwärmen, und Spülbohrköpfe, bei denen das Heißwasser zum Ausspülen des Eises eingesetzt wird, unterschieden. Dabei wird in der Regel das Heißwasser

mit einer begrenzten Wärmekapazität direkt im Bohrkopf erzeugt. Das abgeschmolzene Wasser wird in beiden Fällen nach oben abgepumpt. Die Wärme ausschließlich elektrisch beheizter Bohrer erreicht keine größere seitliche Eindringtiefe, sodass zur Erzeugung größerer Bohrlochdurchmesser ein relativ großer Bohrerdurchmesser und damit eine entsprechend hohe Versorgungsenergie für den Bohrer erforderlich sind. Bei der bekannten Bohrtechnik mit heißem Wasser werden ebenfalls nur Bohrungsdurchmesser im Bereich des Durchmessers des Spülbohrkopfes erstellt, sodass auch hier große Bohrköpfe mit einem hohen Versorgungsenergieaufwand eingesetzt werden.

In der Auslegeschrift **DE 1 936 902 B** (Verfahren und Vorrichtung zum Abteufen von Bohrungen in Eis) werden ein thermisches Bohrverfahren und ein zugehöriger Bohrkopf vorgestellt, der eine kranzförmige Auflageschneide und eine elektrische Heizpatrone am unteren Endes des Bohrkopfs aufweist. Mit dieser Heizpatrone wird der Bohrkopf und ein kleines Wasserreservoir in seiner Umgebung erhitzt, sodass beim Absenken des als Schmelzkopf wirkenden Bohrkopfs ein Bohrloch aufgeschmolzen wird. Oberhalb seines unteren Endes weist der Bohrkopf ein Kühlelement auf, das für das Gefrieren der aufgeschmolzenen Bohrlochwandung sorgt, sodass ein Bohrloch mit Bohrerdurchmesser und harter, aber mehr oder weniger welliger Oberfläche entsteht. Zur Vermeidung von Wärmeeinflüssen des Bohrers auf das fertige Bohrloch ist vorgesehen, dass die beheizten und die gekühlten Bauteile des Bohrers gegeneinander isoliert sind. Das Schmelzwasser wird durch ein zentrales Pumprohr nach oben abgepumpt. Das Aufholen und Ablassen des Bohrers oder von später einzusetzenden Messgeräten über größere Tiefen ist durch Verkanten und Klemmen wegen des engen Bohrlochs äußerst problematisch. Dies gilt insbesondere für das Rückholen eines Messgeräts aus dem Wasserbereich unter einem Durchgangsbohrloch. Hier gestaltet sich das Einfädeln in das enge Bohrloch sehr schwierig und führt nicht selten zum Verlust des Messgeräts und damit der Daten. Darüber hinaus ist der Bohrkopf aufwändig aufgebaut und damit relativ teuer. Eine an der Oberfläche

befindliche Versorgungseinrichtung muss den elektrischen Versorgungsstrom zum Heizen und Kühlen bereitstellen. Eine Kraneinrichtung zum Ablassen und Aufholen des Bohrers mit den hinderlichen elektrischen Leitungen ist ebenfalls erforderlich.

5

Aus der Figur der Druckschrift **SU 252 252 A1** (Thermodrill) ist ein Bohrverfahren erkennbar, bei dem das Bohrloch durch Spülen mit Heißwasser im Umlaufbetrieb erzeugt wird. Das Spülwasser wird immer wieder zentral durch einen Propeller angesaugt, erwärmt und durch eine große axiale Ringöffnung vor den als Spülkopf arbeitenden Bohrkopf gedrückt, um dort weiter Eis abzuschmelzen. Das Schmelzwasser wird abgesaugt. Der Bohrer wird seitlich geführt. Bohrer- und Bohrlochdurchmesser stimmen wieder überein, und führen zu einem engen Bohrloch, sodass wiederum mit den bereits weiter oben beschriebenen Problemen zu rechnen ist. Außerdem gibt es über das

10

15

zumindest partielle Zufrieren des Bohrlochs und die damit verbundene Schwierigkeit des Aufholens und Ablassen des Bohrers oder von Messgeräten keine Erkenntnisse.

Ein Anwendung für eine Heißwasserbohrung mit einem Spülbohrkopf, bei der das Heißwasser auf der Oberfläche erzeugt und bevorratet wird, bildet das AMANDA-Neutrino-Teleskop-Projekt in der Antarktis. In der **Veröffentlichung** (abrufbar im Internet unter der Adresse <http://www.physik.uni-mainz.de/lehramt/Schule/Pas/2001/2001/Sterne+Weltraum%202001/sld052.htm> , mit Stand vom 09.06.2003) werden die Bohrparameter mit einem mittleren

20

25

Bohrungsdurchmesser von 60cm und eine Wassertemperatur von 80°C angegeben. Ein Foto des Spülbohrkopfs zeigt eine Vorrichtung mit nach unten gerichtetem Wasserstrahl. Das Durchmesserprofil der Bohrung zeigt allerdings eine äußerst unbefriedigende Schwankungsbreite von 45 cm bis 75 cm. Bei Bohrungen mit einem derart schwankenden Profil muss zur Vermeidung von

30

Problemen beim Auf- und Niederholen schon der minimale Bohrungsdurchmesser groß gewählt und damit ein überproportional großer Energieaufwand in Kauf genommen werden.

Es ist daher die **Aufgabe** der vorliegenden Erfindung, das eingangs beschriebene Verfahren zum Bohren von Löchern in Eis und eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens derart weiterzubilden, dass ein damit  
5 hergestelltes Bohrloch über seine ganze Länge einen konstanten, kreisförmigen und für die Passage sowohl des Bohrers selbst als auch eines Messinstruments ausreichend großen Bohrungsdurchmesser bei gleichzeitig glatter Wandung ohne Profilbildung aufweist. Dabei soll der Bohrungsdurchmesser insbesondere bei Durchgangsbohrungen so groß sein, dass ein  
10 einfaches und sicheres Rückholen von Messinstrumenten aus dem Wasserbereich möglich ist. Die Vorrichtung zur Verfahrensdurchführung soll einfach und kostengünstig sowie leicht handhabbar sein.

Zur **Lösung** sieht das erfindungsgemäße Verfahren folgende  
15 Verfahrensschritte vor :

- Erzeugen einer vertikalen Vorbohrung kleinen Durchmessers mit einem Schmelzbohrkopf,
- Aufsetzen eines Schmelz-Spül-Bohrkopfes größeren Durchmessers auf  
20 die Vorbohrung,
- Aufheizen von Wasser als Wärmeträger an der Eisoberfläche,
- gesteuertes Pumpen des Heißwassers in den Schmelz-Spül-Bohrkopf unter Druck,
- Umlenken des Heißwassers im Bereich des Schmelz-Spülkopfes in eine  
25 Radialebene,
- Spülen des Heißwassers in einem scharfen, scheibenförmigen Strahl umlaufend radial gegen die Bohrungswandung, wobei das Heißwasser mit dem Schmelzwasser vermischt und in Richtung auf die Eisoberfläche gedrückt wird,
- 30 • Absenken des Schmelz-Spül-Bohrkopfes unter Erzeugung einer Hauptbohrung und

- Versickern oder Abpumpen des mit dem Schmelzwasser vermischten und in Richtung Eisoberfläche gedrückten Heißwassers.

Dabei kann das erfindungsgemäße Verfahren besonders vorteilhaft mit einer  
5 Vorrichtung umgesetzt werden, bei der ausgehend von einer  
gattungsgemäßen Vorrichtung mit einem mittels Heißwasser erwärmbaren  
Bohrkopf sowie einer Versorgungs- und einer auf- und niederholenden  
Kraneinrichtung vorgesehen ist, dass der Bohrkopf als kombinierter Schmelz-  
Spül-Bohrkopf ausgebildet ist und an seinem oberen Ende einen axialen  
10 Wassereintritt und an seinem unteren Ende einen halbkugelähnlichen  
Schmelzbereich sowie oberhalb des Schmelzbereichs, aber unterhalb des  
Wassereintrittes einen engen, mit dem Wassereintritt großflächig  
verbundenen, azimuthal umlaufenden Ringspalt als Wasseraustritt aufweist,  
wobei der gesamte Schmelz-Spül-Bohrkopf aus einem gut wärmeleitenden  
15 Material gebildet ist.

Das erfindungsgemäße thermische Bohrverfahren stellt ein kombiniertes  
Schmelz- und Spülverfahren dar, mit dem mit relativ kleinen Bohrköpfen große  
Bohrlochdurchmesser bis in große Tiefen konstant erzeugt werden können.  
20 Dazu wird Heißwasser mit einer großen Wärmekapazität verwendet, das auf  
der Eisoberfläche erzeugt wird. Hier können Energiedepots eingesetzt werden,  
die ohne Weiteres eine großvolumige Wassererhitzung ermöglichen und  
Heißwasser auch verzögerungsfrei zur Verfügung stellen können. Größere  
Heizeinrichtungen im Bohrer, die zur Vermeidung von Zeitverzögerungen wie  
25 Durchlauferhitzer sehr leistungsstark sein müssten, entfallen. Das  
Schmelzverfahren wird durch das Pumpen von Heißwasser in den Schmelz-  
Spül-Bohrkopf und dessen Erwärmung realisiert, wohingegen das  
Spülverfahren durch den gesteuerten, seitlichen Austritt des Heißwassers aus  
dem Schmelz-Spül-Bohrkopf umgesetzt wird. Bei der Kombination des  
30 Schmelzbohrens mit dem Spülbohren sorgt das frontseitige Schmelzbohren für  
den Vortrieb des Bohrkopfes im Bohrloch und das druckbeaufschlagte  
Spülbohren für die seitliche Aufweitung des Bohrlochs auf seinen großen,

konstanten Durchmesser, wobei der Wasseraustritt hinter dem nach vorne orientierten Schmelzbereich liegt. Insbesondere der seitliche Wasseraustritt sorgt für die Aufschmelzung großer Bohrlöcher mit konstantem Durchmesser.

- 5 Eigene Versuche haben ergeben, dass bei der Herstellung solcher großformatiger Bohrungen im Bereich von 500 bis 1000 mm im schwimmenden Eis oder im Schelfeis der polaren Küstenregionen Vorbohrungen mit einem Durchmesser von 50 bis 100 mm als Geradföhrung für die Hauptbohrung erforderlich sind. Bei dieser ebenfalls thermisch
- 10 hergestellten Bohrung wird das Eis vollständig durchstoßen. Da das Eis bis zu einer Tiefe von einigen Metern im Wasser liegt, dringt zum Zeitpunkt des Durchbruchs der Bohrung Meerwasser bis zur allgemein vorherrschenden Höhe des Meeresspiegels in die Bohrung im Eis ein und vermischt sich mit dem von der Bohrung herröhrenden Schmelzwasser. Bei der anschließenden
- 15 Hauptbohrung kann bei der Verwendung eines bekannten Spülbohrkopfes in konventioneller Technik mit ausschließlich nach unten gerichteten Heißwasserstrahlen der gewünschte Bohrungsdurchmesser durch Abschmelzen vor dem und um den Spülbohrkopf herum nur maximal bis einige Meter vor dem unteren Bohrungsende erreicht werden. Einige Meter über dem
- 20 unteren Ende der Bohrung wird durch die Jetwirkung der Wasserstrahlen kaltes Meerwasser mit einer Temperatur von  $-1,8$  bis  $-2,0^{\circ}\text{C}$  wie von einer Wasserstrahlpumpe durch die Vorbohrung angesaugt. Dadurch wird das Bohrloch im Bereich vor und um den Spülbohrkopf so stark abgeköhlt, dass nur noch ein Bohrungsdurchmesser von wenig mehr als dem Durchmesser des
- 25 Spülbohrkopfs erzielt wird, was zu den bekannten Nachteilen föhrt. Eine Messmission kann also mit einem herkömmlichen Spülbohrverfahren nicht zufriedenstellend erfüllt werden. Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren hingegen wird das in den kombinierten Schmelz-Spül-Bohrkopf eintretende Heißwasser zunächst an dem Schmelzbereich zu dessen Erwärmung
- 30 vorbeigeföhrt und dann radial umgelenkt und durch den azimuthal umlaufenden Ringspalt mit hohem Druck herausgedrückt. Der Heißwasserstrahl trifft mit hoher Geschwindigkeit auf die Wandung der Bohrung und kann seine



Wärmewirkung unmittelbar entfalten. Außerdem liegt durch den seitlichen Wasseraustritt nunmehr das halbkugelähnlich abgerundete untere Ende des Schmelz-Spül-Bohrkopfs praktisch auf dem unteren Ende der bereits erschmolzenen großvolumigen Bohrung auf und verschließt mit seinem Gewicht die zentrale Vorbohrung weitgehend. Das wegen des heißen Schmelzbereichs des Schmelz-Spül-Bohrkopfs am Bohrungsende vorhandene Schmelzwasser bildet einen die Wärmeenergie gleichmäßig verteilenden dünnen Film zwischen Schmelz-Spül-Bohrkopf und Eisfläche. Das Schmelzwasser fließt hier oberhalb des Wasserspiegels in die Vorbohrung ab. Kaltes Wasser wird nun durch den radial abgegebenen scheibenförmigen Heißwasserstrahl und die durch den Schmelz-Spül-Bohrkopf selbst verschlossene Vorbohrung nicht mehr angesaugt, sodass der gewünschte Bohrungsdurchmesser über die gesamte Länge der Bohrung erzeugt werden kann. Der an der Bohrungswand nach oben abgelenkte flächige Wasserstrahl sorgt für eine ungestörte, gleichmäßig runde und von Kavernen oder Profilrillen freie Bohrungsoberfläche und einen konstanten Bohrungsdurchmesser. Durch den Einsatz der erfindungsgemäßen Bohrvorrichtung wird das Ziel von zum Zweck des problemlosen Durchschleusens mit anschließender Bergung von großformatigen Untersuchungseinrichtungen unter das Schelfeis hergestellten Bohrungen ohne die Kosten und den logistischen Aufwand von Großbohrvorhaben sicher erreicht. Dabei besteht der als kombinierter Schmelz- und Spülbohrkopf ausgebildete Bohrkopf nach der Erfindung nur aus statischen, mechanisch stabilen Konstruktionselementen. Drehende oder anders bewegte Elemente und stromdurchflossene Verbindungsleitungen sind vermieden, wodurch sich ein sehr robuster und unempfindlicher Aufbau ergibt. Der anstelle eines Stromkabels zum Bohrort führende Schlauch zur Heißwasserzufuhr unterliegt aufgrund seiner Temperatur trotz guter Isolierung nicht der Gefahr des Anfrierens. Außerdem kann er aufgrund seiner Drucksteifigkeit nicht geknickt oder verwunden werden. Eine Störung beim Auf- und Niederholen des Schmelz-Spül-Bohrkopfs in der Bohrung ist somit nicht zu erwarten.

Vorteilhafte Fortführungen des erfindungsgemäßen Verfahrens sehen vor, dass das Wasser auf Temperaturen von bis zu 90°C aufgeheizt und dass das Heißwasser mit Drücken von bis in den Bereich von  $10^7$  Pa in das Bohrloch gepumpt wird. Eine gut isolierte Bevorratung des Heißwassers auf der Eisoberfläche stellt kein technisches Problem dar. Insbesondere kann zur Aufheizung des Wassers auch Solarenergie hinzugezogen werden. Die Erzeugung der hohen Heißwasserdrücke kann mit einfachen und gegen Kälte unempfindlichen Pumpen erfolgen, da die druckbeaufschlagten Querschnitte relativ klein sind. Angetrieben werden können die Pumpen beispielsweise über vorhandene Aggregate mit Verbrennungsmotoren. Ferner kann vorteilhaft vorgesehen sein, dass in einer Bohrlochtiefe von bis zu fünfzig Metern mit dem Spülwasser eine Kaverne gespült und das mit dem Schmelzwasser vermischte Spülwasser zum Versickern hineingepumpt wird. Temperatur und Druck des Heißwassers bestimmen den möglichen Schmelzvortrieb der Bohrung im Eis bei Einhaltung der Bohrungsparameter wie Durchmesser und Glattheit der Bohrungswandung. Das Eis bis in Tiefen von bis zu 50 Metern ist porös und wasserdurchlässig. Um den Bohrort nicht mit abgepumptem Schmelzwasser zu überschwemmen, kann in eine Kaverne gepumpt werden. Beim Spülen der Kaverne und auf den ersten bis zu 50 Metern der Bohrungen ist daher im Allgemeinen kein Absaugen erforderlich, das Schmelzwasser versickert. Erst in größeren Tiefen muss das mit dem Schmelzwasser vermischte Heißwasser abgepumpt werden. Wegen der hohen Mischtemperatur wird das abgepumpte Wasser zum Zweck der deutlichen Energieeinsparung bei der Heißwassererzeugung wiederverwendet.

25

Ein besonderes Problem bei der Bergung von unter dem Eis abgelassenen Messinstrumenten stellt deren Rückholung in das Bohrloch dar. Beispielsweise kann das Messinstrument durch unterschiedliche starke Tiedenströmungen seitlich vom Bohrloch weggedrückt werden. Beim Rückholen kann es somit zu Verkantungen an der Eisunterseite oder zum Einschneiden des Seils im Eis kommen. Eine Lösung kann hier die Berücksichtigung zeitabhängiger Strömungen, beispielsweise der Tiedenwechsel sein. Vorteilhaft ist aber auch

30

eine Einfädelhilfe. Deshalb kann gemäß einer nächsten Fortführung der Erfindung bei Durchgangsbohrungen vorgesehen sein, dass ein zylindrisches Führungselement als Rückholhilfe in den Übergangsbereich zwischen Eisunterkante und Meer an einem Seil in die Hauptbohrung eingebracht wird.

- 5 Das Führungselement kann aus einem einfachen Ring oder Rohr bestehen, es kann aber auch einen aufgebogenen und umgebördelten Rand nach Art eines Trichters aufweisen, der scharfe Kanten vermeidet. Dabei kann die Querschnittsverengung im zylindrischen Trichterteil akzeptiert werden, da der Bohrungsdurchmesser ausreichend groß dimensioniert sein kann.

10

Ein direktes Abschmelzen des Eises vor dem Spülkopf durch senkrechte Heißwasserstrahlen entfällt bei der Erfindung. Der Bohrvortrieb erfolgt ausschließlich über das Voranschmelzen des Schmelzbereichs in der Führung der Vorbohrung. Der in die Radialebene des Bohrkopfs umgelenkte Heißwasserstrahl spült den großen Bohrungsdurchmesser und die glatte Wandung, ist dabei aber auf den Vorschub durch den durch Abschmelzen absinkenden Schmelz-Spül-Bohrkopf angewiesen. Die Konstruktion des erfindungsgemäßen Schmelz-Spül-Bohrkopfs sieht daher vor, dass dieser aus gut wärmeleitenden Material besteht, sodass das heiße Wasser im Inneren für eine ausreichende Erwärmung am unteren Ende des Spülkopfs sorgt, um das Eis am Bohrungsende mit Spülkopfdurchmesser abzuschmelzen.

20

- Eine vorteilhafte Fortführung der Vorrichtung zum thermischen Bohren nach der Erfindung sieht vor, dass im Schmelz-Spül-Bohrkopf der azimuthal umlaufende Ringspalt eine Breite in einem Bereich von einem Millimeter aufweist, wodurch der für die gewünschte Spülwirkung erforderliche Druck des über den vollen Kreis von 360° reichenden scheibenförmigen Wasserstrahls erzielt wird. Über die Öffnung des Ringspalts können Bohrungsdurchmesser und Vorschubgeschwindigkeit mitbestimmt werden. Zur besseren thermischen Ankoppelung des halbkugelförmigen Schmelzbereichs am unteren Endes des Schmelz-Spül-Bohrkopfs an das Bohrungsende kann weiterhin vorteilhaft vorgesehen sein, dass das thermisch gut leitende Material des Schmelz-Spül-

25

30

Bohrkopfs Kupfer ist. Hierbei handelt es sich um ein einfach zu verarbeitendes und gegenüber Wassereinwirkung resistentes, preiswertes Material. Ferner kann vorgesehen sein, dass der Schmelz-Spül-Bohrkopf im Bereich unterhalb des Ringspalts im Inneren hohl ist und in dem Hohlraum eine Vielzahl von radialen, mit dem Ringspalt großflächig verbundene Lamellen aufweist, die als Wärmebrücken für eine besonders gute Wärmeübertragung vom Heißwasser auf den Schmelzbereich zum Schmelzen des Eises vor dem Schmelz-Spül-Bohrkopf sorgen. Weiterhin kann vorteilhaft vorgesehen sein, dass der Schmelz-Spül-Bohrkopf aus mehreren hydraulisch dicht verspannten Radialschichten aufgebaut ist. Dieser Schichtaufbau bietet Vorteile bei der Herstellung und für eventuell notwendige Reinigungen des Schmelz-Spül-Bohrkopfs. Auch kann dadurch der besonders beanspruchte Bereich des Ringspalts separat ausgewechselt werden. Schließlich kann vorteilhaft vorgesehen sein, dass ein Zuführungsschlauch für das Heißwasser zum axialen Wassereintreitt und ein Seil zum Auf-und Niederholen des Schmelz-Spül-Bohrkopfs eine Einheit bilden. Dadurch entfällt ein separates Seil und die Kranvorrichtung muss vereinfachend nur ein Element auf- und abspulen. Der Zuführungsschlauch für das Heißwasser ist aufgrund seines wegen der erforderlichen Druckfestigkeit verstärkten Aufbaus zum Kranen des Gewichts des Schmelz-Spül-Bohrkopfs ohne Weiteres geeignet.

**Ausbildungsformen der Erfindung** werden nachfolgend anhand der schematischen Figuren näher erläutert. Dabei zeigt

- 25 **Figur 1** einen Querschnitt des Endes der Hauptbohrung mit dem Schmelz-Spül-Bohrkopf als Detail der Vorrichtung nach der Erfindung,
- Figur 2** zwei Schnitte durch den Schmelz-Spül-Bohrkopf gemäß Figur 1 mit Lamellenstruktur und in Schichtaufbau und
- 30 **Figur 3** eine Übersicht über eine fertige Hauptbohrung mit Rückholhilfe

Die **Figur 1** zeigt ausschnittsweise im Detail einen Schmelz-Spül-Bohrkopf **1** der erfindungsgemäßen Vorrichtung zum thermischen Bohren von Löchern in Eis. Dieser weist an seinem oberen Ende einen axial verlaufenden Wassereintritt **2** und an seinem unteren Ende einen halbkugelähnlichen abgerundeten Schmelzbereich **3** auf. An der Eisoberfläche temperiertes Heißwasser **4** wird in den Schmelz-Spül-Bohrkopf **1** hineingepumpt und in die Radialebene des Schmelz-Spül-Bohrkopfs **1** umgelenkt. Dort tritt es radial aus einem engen, azimuthal umlaufenden Ringspalt **5** als scharfer, scheibenartig ausgebildeter Heißwasserstrahl **6** aus und trifft unter hohem Druck auf die Bohrungswandung **7**. Da kein Wasser nach unten aus dem Schmelzbereich **3** austritt, sitzt der Schmelz-Spül-Bohrkopf **1** mit dem Schmelzbereich **3** auf dem unteren Bohrungsende **8** auf. Dadurch wird eine zuvor angelegte Vorbohrung **9** praktisch verschlossen. Auf Grund des durchströmenden Heißwassers ist der gesamte Schmelz-Spül-Bohrkopf **1** soweit durchgewärmt, dass er insbesondere im Schmelzbereich **3** Wärmeenergie (in der **Figur 1** angedeutet durch Pfeile **11**) in das untere Bohrungsende **8** einleitet, sodass dort im Bereich der Vorbohrung **9** ein Abschmelzen bewirkt wird und das Schmelzwasser **10** einen stabilen und abdichtenden Wasserfilm **12** zwischen dem Schmelzbereich **3** des Schmelz-Spül-Bohrkopfs **1** und dem unteren Bohrungsende **8** bildet. Ein an der Bohrungswandung **7** nach oben abgelenkter Wasserstrahl **13** spült bei konstanten Druck- und Temperaturbedingungen im Rahmen seiner gleichbleibenden thermischen und kinetischen Energie eine im Querschnitt runde, an der Bohrungsoberfläche **14** glatte, im Durchmesser **15** konstante, kavernen- und profilrillenfreie Hauptbohrung **19**. Eine solche Hauptbohrung **19** ist geeignet, auch größere Apparaturen aufzunehmen, sicher unter das Eis **16** und ebenso sicher wieder zurückzubringen. Das Heißwasser **4** wird über einen zentralen Zuführungsschlauch **17** dem Schmelz-Spül-Bohrkopf **1** zugeleitet. Nachdem es seine Energie zum Schmelzen der Hauptbohrung **19** abgegeben hat, vermischt es sich mit dem Schmelzwasser **18** und wird über einen Kavernenschlauch **20** nach oben abgepumpt.

Die **Figur 2** zeigt im oberen Teil einen Längsschnitt durch den Schmelz-Spül-Bohrkopf **1** gemäß **Figur 1** und im unteren Teil einen Querschnitt durch den Schmelzbereich **3**. Der Zuführungsschlauch **17** für das Heißwasser **4** ist über eine zentrale Schlauchverschraubung **21** mit einem Einführungsstutzen **22** als  
5 axialem Wassereintritt **2** am oberen Ende des Schmelz-Spül-Bohrkopfs **1** verbunden. Das Heißwasser **4** fließt durch einen Zentralkanal **23** in den Schmelzbereich **3** des Schmelz-Spül-Bohrkopfs **1**, durchströmt dort eine Struktur aus wärmeleitenden Lamellen **24** und dringt unter hohem Druck durch den Ringspalt **5** nach außen. Die Struktur aus den Lamellen **24** verteilt das  
10 Heißwasser **4** so im Schmelzbereich **3** des Schmelz-Spül-Bohrkopfs **1**, dass die Wärmeenergie **11** gleichmäßig an das Eis **16** am Bohrungsende **8** abgegeben werden kann. Zum einfachen variablen und wartungsfreundlichen Aufbau ist der dargestellte Schmelz-Spül-Bohrkopf **1** aus mehreren Radialschichten **25** aufgebaut, die mit einer Verspannung **27**  
15 zusammengehalten und über die Dichtelemente **28** hydraulisch dicht gehalten werden. Eine mittlere Radialschicht **26** kann über ihre Dicke der Gewichtsregulierung des Schmelz-Spül-Bohrkopfs **1** nach der Erfindung insgesamt dienen.

**Figur 3** zeigt in verkürztem Maßstab eine fertige Hauptbohrung **19** mit einer darüberstehenden Kraneinrichtung **33**, an der ein Messgerät **34** mit seiner tragenden Messleitung **35** im freien Wasser des Meeres **31** hängt. Das Messgerät **34** wird von der Strömung **36** verdriftet und hängt nicht mehr senkrecht unter der Eisunterkante **30**. Je nach Stärke der Drift kann die  
25 Messleitung **35** in das Eis an der Eisunterkante **30** der Hauptbohrung **19** einschneiden und somit die Rückholung des Messgeräts **34** gefährden. Zur Vermeidung dieser Gefahr ist eine Rückholhilfe in Form eines zylindrischen Führungselements **29** zwischen Eisunterkante **30** und Meer **31**, zum Beispiel mit einem abgerundeten Rand zur Unterstützung des Einfädels, an einem  
30 Tragseil **32** vorgesehen, dass ebenfalls von der Kraneinrichtung **33** auf- und niedergeholt werden kann.

**Bezugszeichenliste**

5

1 Schmelz-Spül-Bohrkopf

2 Wassereintritt

3 Schmelzbereich

4 Heißwasser

10

5 Ringspalt

6 Heißwasserstrahl

7 Bohrungswandung

8 unteren Bohrungsende

9 Vorbohrung

15

10 Schmelzwasser

11 Wärmeenergie (Pfeile)

12 Wasserfilm

13 Wasserstrahl

14 Bohrungsoberfläche

20

15 Durchmesser

16 Eis

17 Zuführungsschlauch

18 Schmelzwasser

19 Hauptbohrung

25

20 Kavernenschlauch

21 Schlauchverschraubung

22 Einführungsstutzen

23 Zentralkanal

24 Lamellen

30

25 Radialschicht

26 mittlere Radialschicht

27 Verspannung

- 28 Dichtelemente
- 29 Führungselement
- 30 Eisunterkante
- 31 Meer
- 5 32 Tragseil
- 33 Kraneinrichtung
- 34 Messgerät
- 35 Messleitung
- 36 Strömung

10



## Patentansprüche

1. Verfahren zum thermischen Bohren von Löchern in Eis mit den  
5 Verfahrensschritten :

- Erzeugen einer vertikalen Vorbohrung (9) kleinen Durchmessers mit einem Schmelzbohrkopf,
- Aufsetzen eines Schmelz-Spül-Bohrkopfes (1) größeren Durchmessers auf die Vorbohrung (9),
- 10 • Aufheizen von Wasser als Wärmeträger an der Eisoberfläche,
- gesteuertes Pumpen des Heißwassers (4) in den Schmelz-Spül-Bohrkopf (1) unter Druck,
- Umlenken des Heißwassers (4) im Bereich des Schmelz-Spülkopfes (1) in eine Radialebene (5),
- 15 • Spülen des Heißwassers (4) in einem scharfen, scheibenförmigen Strahl (6) umlaufend radial gegen die Bohrungswandung (7), wobei das Heißwasser (4) mit dem Schmelzwasser (10) vermischt und in Richtung auf die Eisoberfläche gedrückt wird,
- Absenken des Schmelz-Spül-Bohrkopfes (1) unter Erzeugung einer Hauptbohrung (19) und
- 20 • Versickern oder Abpumpen des mit dem Schmelzwasser (10) vermischten und in Richtung Eisoberfläche gedrückten Heißwassers (4).

2. Verfahren nach Anspruch 1,  
25 **dadurch gekennzeichnet**, dass  
das Wasser auf Temperaturen von bis zu 90°C aufgeheizt wird.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2,  
**dadurch gekennzeichnet**, dass  
30 das Heißwasser (4) mit Drücken von bis in den Bereich von  $10^7$  Pa gepumpt wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,

**dadurch gekennzeichnet, dass**

in einer Bohrlochtiefe von bis zu fünfzig Metern mit dem Spülwasser eine  
5 Kaverne gespült und das mit dem Schmelzwasser (10) vermischte Spülwasser  
zum Versickern hineingepumpt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,

**dadurch gekennzeichnet, dass**

10 ein zylindrisches Führungselement (29) in den Übergangsbereich zwischen  
Eisunterkante (30) und Meer (31) an einem Seil (32) in die Hauptbohrung (19)  
eingebracht wird.

6. Vorrichtung zur Durchführung eines Verfahrens zum thermischen Bohren  
15 von Löchern in Eis mit einem mittels Heißwasser erwärmbaren Bohrkopf sowie  
einer Versorgungs- und einer auf- und niederholenden Kraneinrichtung,  
insbesondere nach einem der Verfahrensansprüche 1 bis 5,

**dadurch gekennzeichnet, dass**

20 der Bohrkopf als kombinierter Schmelz-Spül-Bohrkopf (1) ausgebildet ist und  
an seinem oberen Ende einen axialen Wassereintritt (2) und an seinem  
unteren Ende einen halbkugelähnlichen Schmelzbereich (3) sowie oberhalb  
des Schmelzbereichs (3), aber unterhalb des Wassereintrittes (2) einen engen,  
mit dem Wassereintritt (2) großflächig verbundenen, azimuthal umlaufenden  
Ringspalt (5) als Wasseraustritt aufweist, wobei der gesamte Schmelz-Spül-  
25 Bohrkopf (1) aus einem gut wärmeleitenden Material gebildet ist.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6,

**dadurch gekennzeichnet, dass**

der azimuthal umlaufende Ringspalt (5) eine Breite in einem Bereich von einem  
30 Millimeter aufweist.

8. Vorrichtung nach Anspruch 6 oder 7,

**dadurch gekennzeichnet, dass**

5 das gut wärmeleitende Material Kupfer ist.

9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 8,

**dadurch gekennzeichnet, dass**

10 der Schmelz-Spül-Bohrkopf (1) im Bereich unterhalb des Ringspalts (5) im Inneren hohl ist und in dem Hohlraum eine Vielzahl radialer, mit dem Ringspalt (5) großflächig verbundener Lamellen (24) aufweist.

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 9

**dadurch gekennzeichnet, dass**

15 der Schmelz-Spül-Bohrkopf (1) aus mehreren hydraulisch dicht verspannten Radialschichten (25) aufgebaut ist.

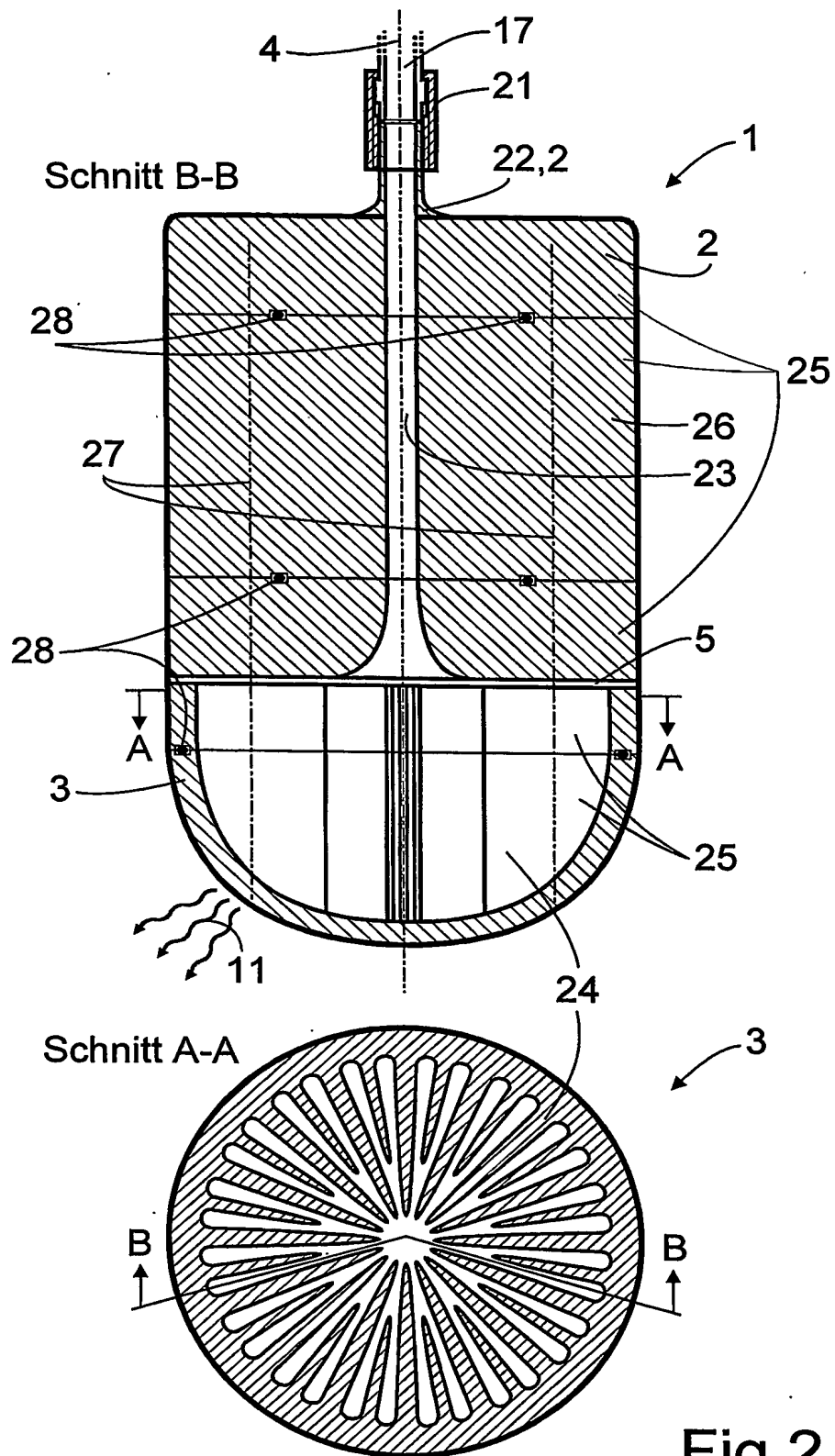
11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 10

**dadurch gekennzeichnet, dass**

20 ein Zuführungsschlauch (17) für das Heißwasser (4) zum axialen Wassereintritt (4) und ein Seil zum Auf-und Niederholen des Schmelz-Spül-Bohrkopfs (1) eine Einheit bilden.



2/3



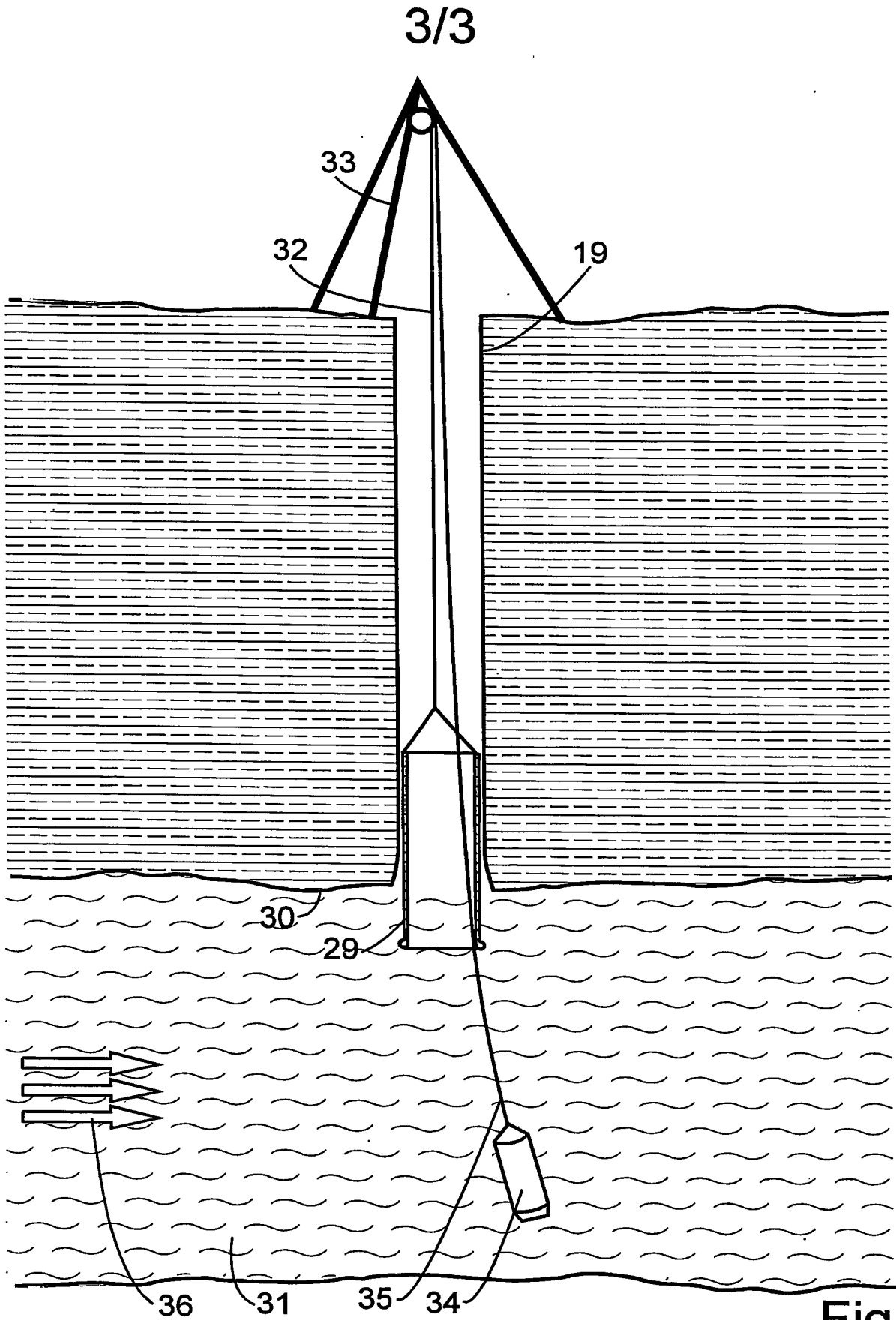


Fig 3

## Zusammenfassung

### Verfahren zum thermischen Bohren von Löchern in Eis und Vorrichtung zur Anwendung des Verfahrens

Hauptanwendungsfeld für Eisbohrungen ist die Polarforschung mit Durchbohrungen von schwimmendem Eis zur Untersuchung der Eisunterseite, des darunterliegenden Wassers und des Meeresbodens. Zum thermischen Bohren werden Schmelzbohrköpfe oder mit heißem Wasser arbeitende Spülbohrköpfe verwendet, die jedoch nur Bohrungsdurchmesser im Bereich des Bohrerdurchmesserserspülen und somit das Ablassen und Rückholen von Bohrern und Messgeräten stark erschweren. Das erfindungsgemäße Verfahren sieht deshalb zur Erzeugung gleichmäßiger und großer Bohrungsdurchmesser eine Kombination des Schmelzbohrens mit dem Spülbohren vor, wobei das Spülbohren in der Radialebene des Bohrlochs erfolgt, und verwendet dazu bevorzugt einen Schmelz-Spül-Bohrkopf (1), der oben einen axialen Wassereintritt (2), unten einen halbkugelähnlichen Schmelzbereich (3) und oberhalb des Schmelzbereichs (3) einen engen, mit dem Wassereintritt (2) großflächig verbundenen, azimuthal umlaufenden Ringspalt (5) aufweist, durch den das Heißwasser (4) an die Bohrungswandung (7) und nach oben umgelenkt wird, wodurch sich eine glatte Bohrungsoberfläche (14) und ein konstanter Bohrungsdurchmesser (15) ergeben. Der Schmelz-Spül-Bohrkopf (1) verschließt eine Vorbohrung (9) über einen Schmelzwasserfilm (12), wodurch Ansaugen von kaltem Meerwasser am Ende der Hauptbohrung (19) vermieden ist.

Figur 1

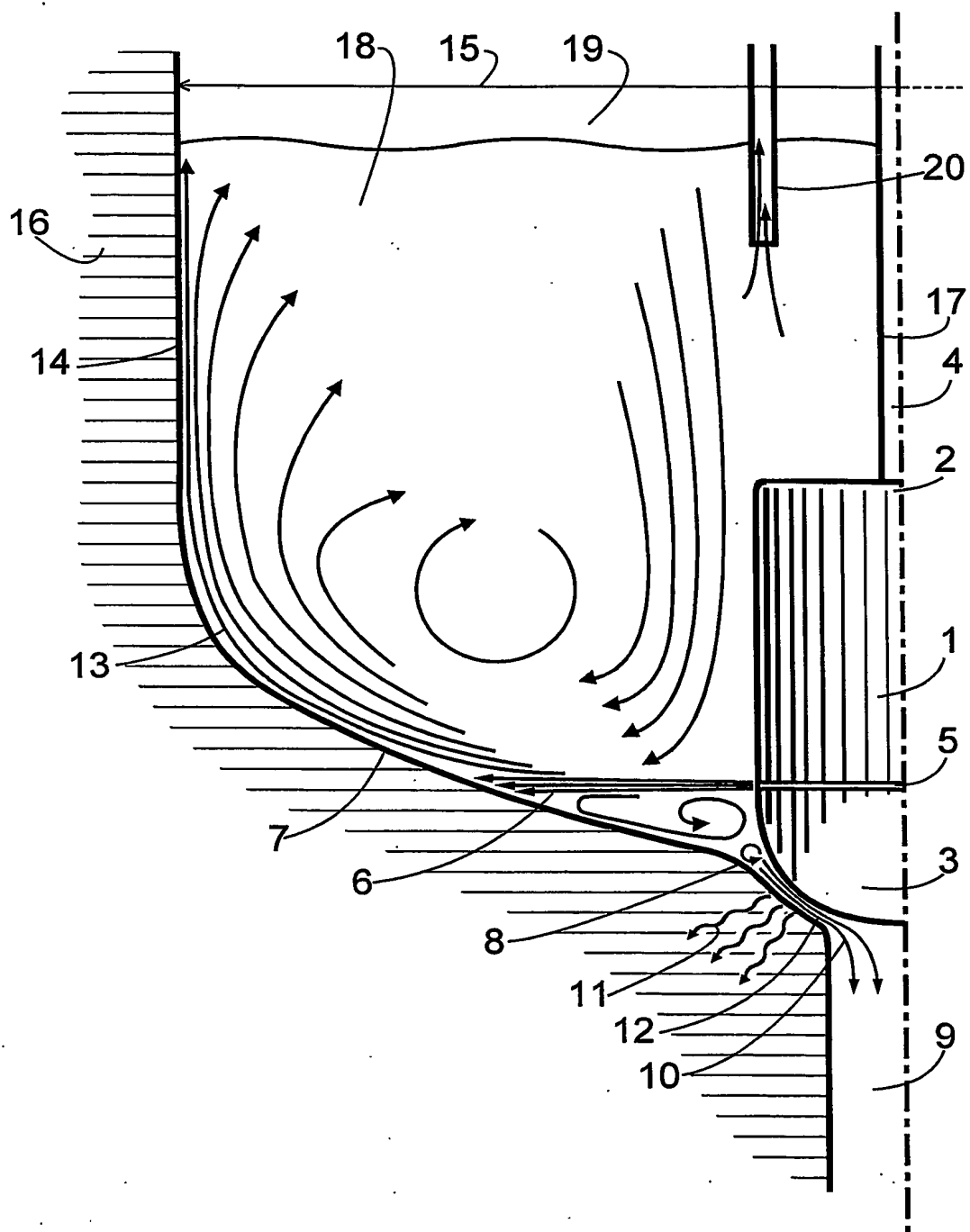


Fig.1